

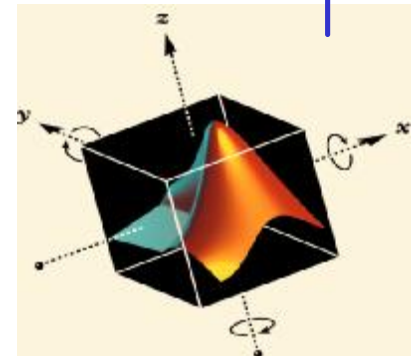
2009年春天 Lecture

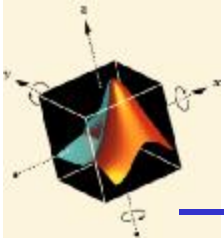
蜂窝无线通信系统仿真

周文安

(zhouwa@bupt.edu.cn)

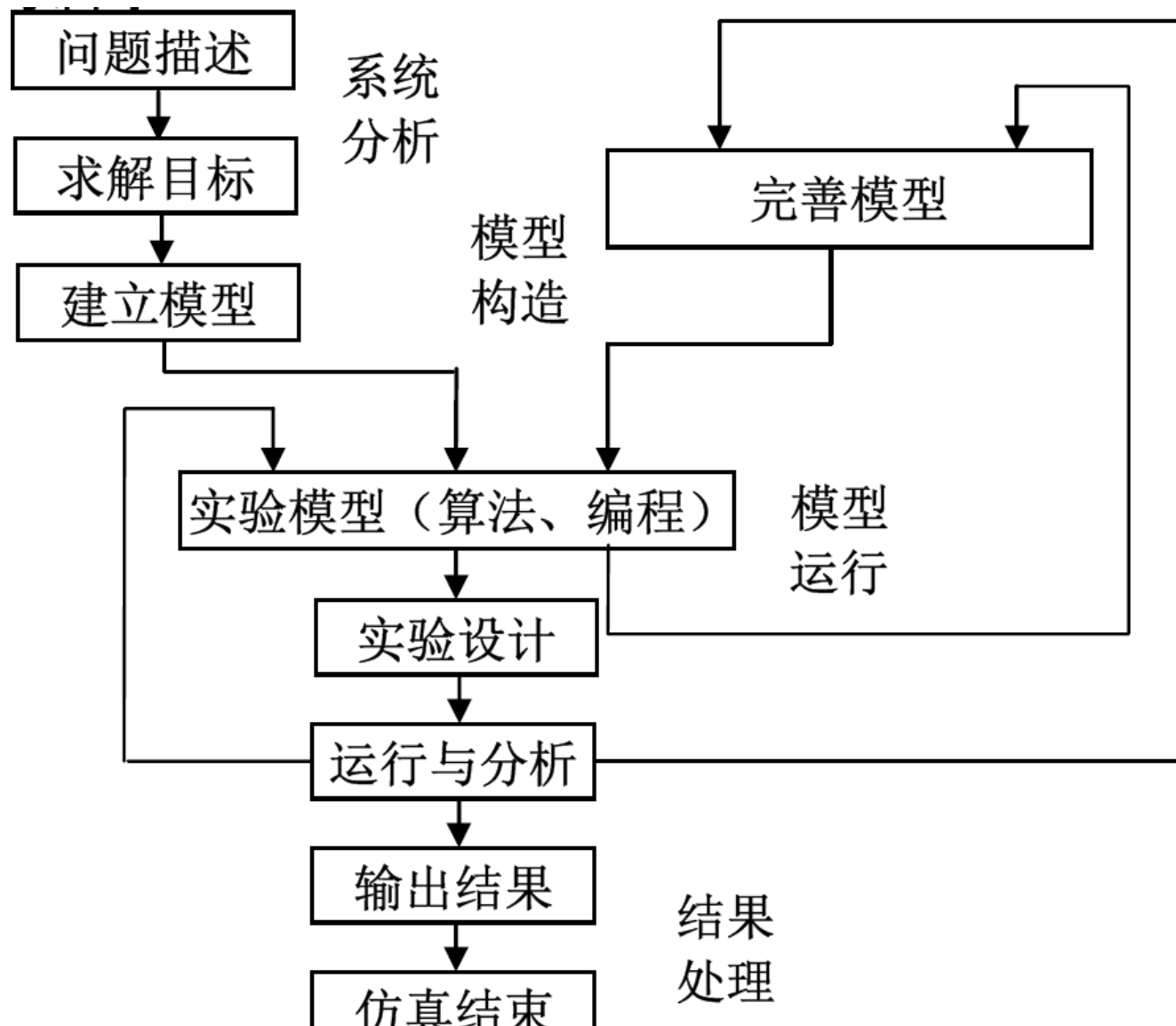
北京邮电大学 计算机学院

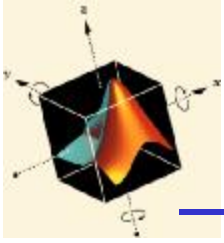




仿真过程

2

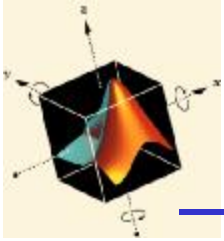




1问题描述

3

对蜂窝系统进行仿真，着重考虑通信系统的一些系统方面的问题----容量，覆盖，质量。

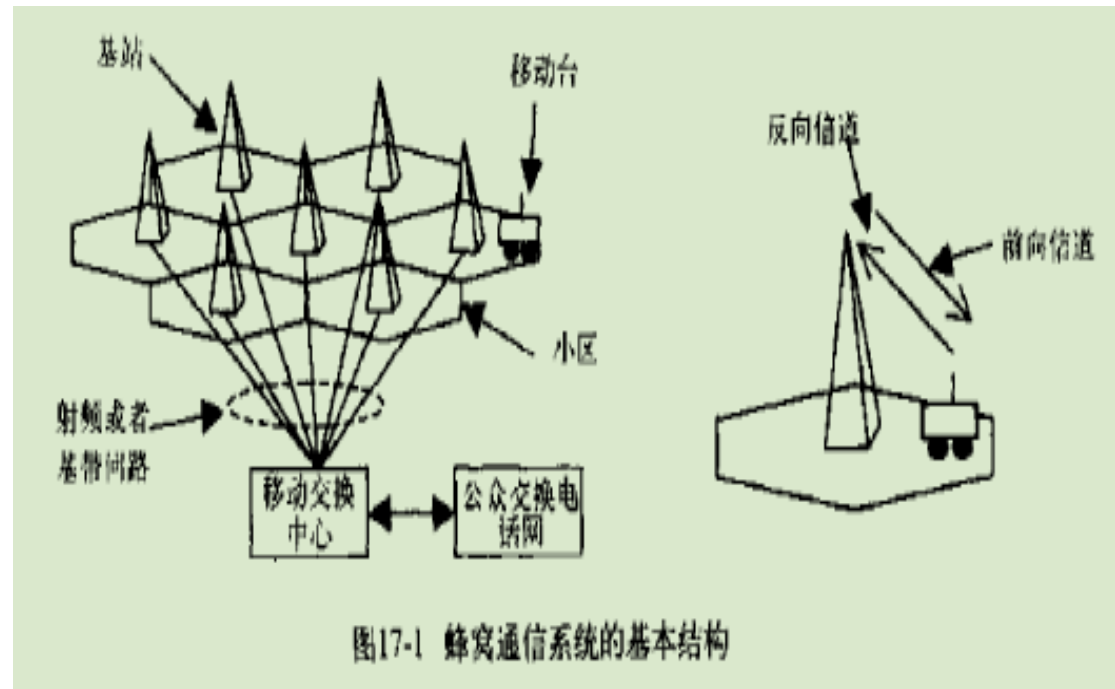


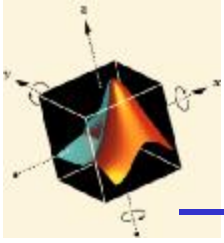
1问题描述--蜂窝无线通信系统描述 4

如图所示，通过把地理区域分成一个个称为小区的部分，蜂窝系统就可以在这个区域内提供无线覆盖。**蜂窝无线系统**指的是在地理上的服务区域内，移动用户和基站的全体，而不是将一个用户连到一个基站的单个链路。

当把频谱分为很多信道，每个小区分配一组信道。从基站到移动台方向称为前向信道，反之为反向信道。前向和反向信道共同组成了双工蜂窝信道。

当使用频分双工时，前向和反向信道使用不同的频率；当使用时分双工时，前向和反向信道占用不同时隙，但是用相同频率。

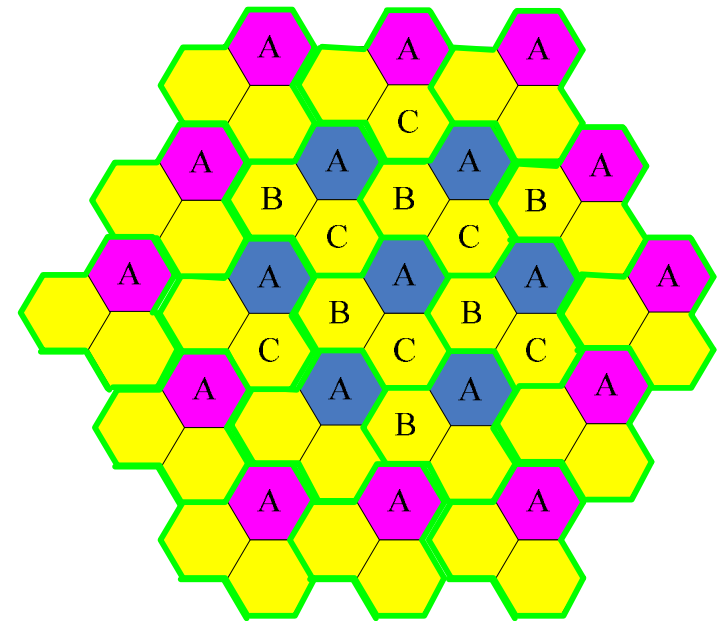




1问题描述--蜂窝无线通信系统描述 5

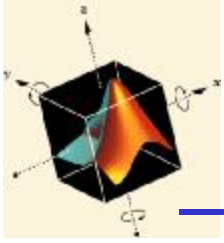
高容量蜂窝系统在小区间进行频率复用，如图所示。N个小区构成一个簇（cluster，又叫区群），则服务区全部可用频谱分到一个簇，且簇内各小区获得不同信道：如N是簇大小，系统有M个信道资源，则簇内每个小区获得信道数位 M/N 。簇周期性重复实现信道复用，于是出现同频小区，且呈现层状结构。同频小区会引起同频干扰，因此同频小区之间要距离足够远以避免同频干扰，两个同频小区中心之间的最小距离 $D_N = \sqrt{3NR}$ ，其中R是小区半径。

人们认识到，同频干扰是制约无线通信系统的容量和链路质量的主要因素之一。在系统容量（大尺度）和链路质量（小尺度）之间做折中时，它起着举足轻重的作用。如在不增加系统分配频谱带宽的前提下，要获得高容量可以减小N，然而此时因为同频距离减小又增加了同频干扰，这会降低链路质量。



中心蓝色小区的同频小区有：

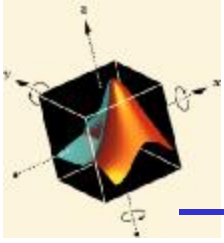
第一层的6个蓝色小区、第二层的12个紫色小区



1问题描述--蜂窝无线通信系统描述 ⁶

由于无线传播影响、用户移动性以及话务量变化，蜂窝系统中的有用信号和干扰都是随机信号，很难对他们建立解析模型，主要靠仿真来估计。一般需要对蜂窝之间的射频传播环境和移动用户的位置进行建模才能仿真。另外，每个用户话务量的统计特征以及基站中信道分配方案的类型决定了瞬时干扰电平和系统容量。考虑到如上特性，蜂窝系统中在考虑同频干扰对系统性能的影响时主要采用系统的中断概率进行分析。其定义如下：

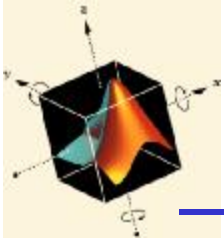
$$P_{outage} = \Pr[SIR < SIR_0] = \int_0^{SIR_0} p_{SIR}(x) dx$$



2 求解目标

7

着重对蜂窝系统的业务行为、中继、信道复用、信道、用户移动行为，扇区化等进行建模，对中断率（质量）、可接受蜂窝面积（覆盖）进行仿真计算，并分析上述两个系统服务质量指标与容量与扇区化、簇大小的关系。

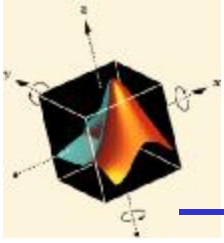


3 建立模型

8

本次给出蜂窝系统的简单仿真实例，着重解决求解目标中的问题。

为了解决整体的仿真蜂窝系统，下面将先对系统的单个部件进行数学建模。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

9

I 业务模型- - - 中继和服务等级

用户的统计特性主要描述为以下两方面

1. 单个用户随机地接入系统，也就是随机地发出一个呼叫请求。同一用户的两个连续呼叫请求之间的时间间隔 τ ，服从指数分布。因此对应的pdf是

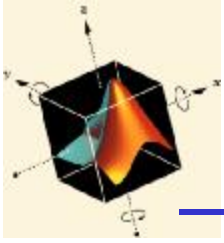
$$p_{\tau}(\tau) = \lambda_u \exp(-\lambda_u \tau) \quad (17-3)$$

其中 λ_u 是单个用户在单位时间内呼叫请求的平均次数（单位时间呼叫数）。我们假设有 U 个用户，由任意两个用户发出的两个连续呼叫请求之间的时间间隔也服从指数分布，呼叫请求的平均次数是 $\lambda = U\lambda_u$ 。

2. 呼叫周期（duration）也是服从指数分布的随机变量，于是短呼叫比长呼叫发生的次数要多。呼叫周期用 s 表示，则 s 的pdf是

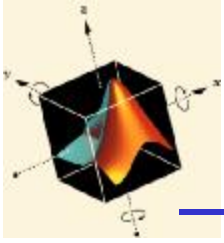
$$f_s(s) = \mu \exp(-\mu s) \quad (17-4)$$

其中， $1/\mu = H$ 是平均呼叫周期（单位时间）。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模 10

基于这些统计特性，大量用户可以共享数量较少的信道。因为单个用户不需要在所有时间都接入系统，可以仅在呼叫期间给用户分配信道。呼叫终止后，信道返回可用信道库。由于所有信道可能都在为其他用户服务，信道变得繁忙，于是新呼叫被阻塞。根据用户的统计特性、信道库中的可用信道数、中继系统的一些特征，我们可以确定由于缺乏空闲信道而阻塞的概率。这个概率叫**阻塞概率**，是中继系统的“**服务等级**”的一个量度。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

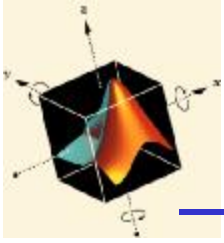
11

单个用户的统计特性可以概括在用户产生的话务量 A_u 中，用爱尔兰做单位可以定义为：

$$A_u = I_u H$$

一个包含U个用户的系统中，总流入话务量用爱尔兰表示为：

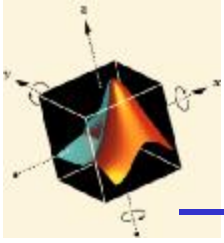
$$A = U A_u = I H$$



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

12

为了确定中继系统提供的用户服务质量，一个很重要的考虑就是系统**如何处理呼叫阻塞**。有两个基本策略。第一个策略是：呼叫请求被阻塞就清除，这时的中继系统称为阻塞清除系统。第二个策略是：将阻塞呼叫保持在一个队列中，当有可用信道时再提供服务，采用这种策略的系统是阻塞呼叫延迟系统。我们主要讨论前者，因为这更常见。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

13

因此做如下假设：

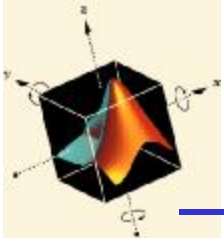
Ø阻塞的呼叫被清除

Ø呼叫到达无记忆

Ø有限个用户

Ø信道库有C个可用中继信道

在这些条件下，阻塞率 P_B 可以用爱尔兰B公式给出。爱尔兰B公式将流入话务量A、中继信道数C和阻塞率联系起来。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

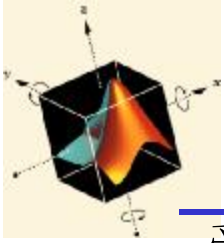
14

爱尔兰B公式:

$$P_B = \frac{A^C / C!}{\sum_{k=0}^C A^k / k!}$$

MATLAB代码如下:

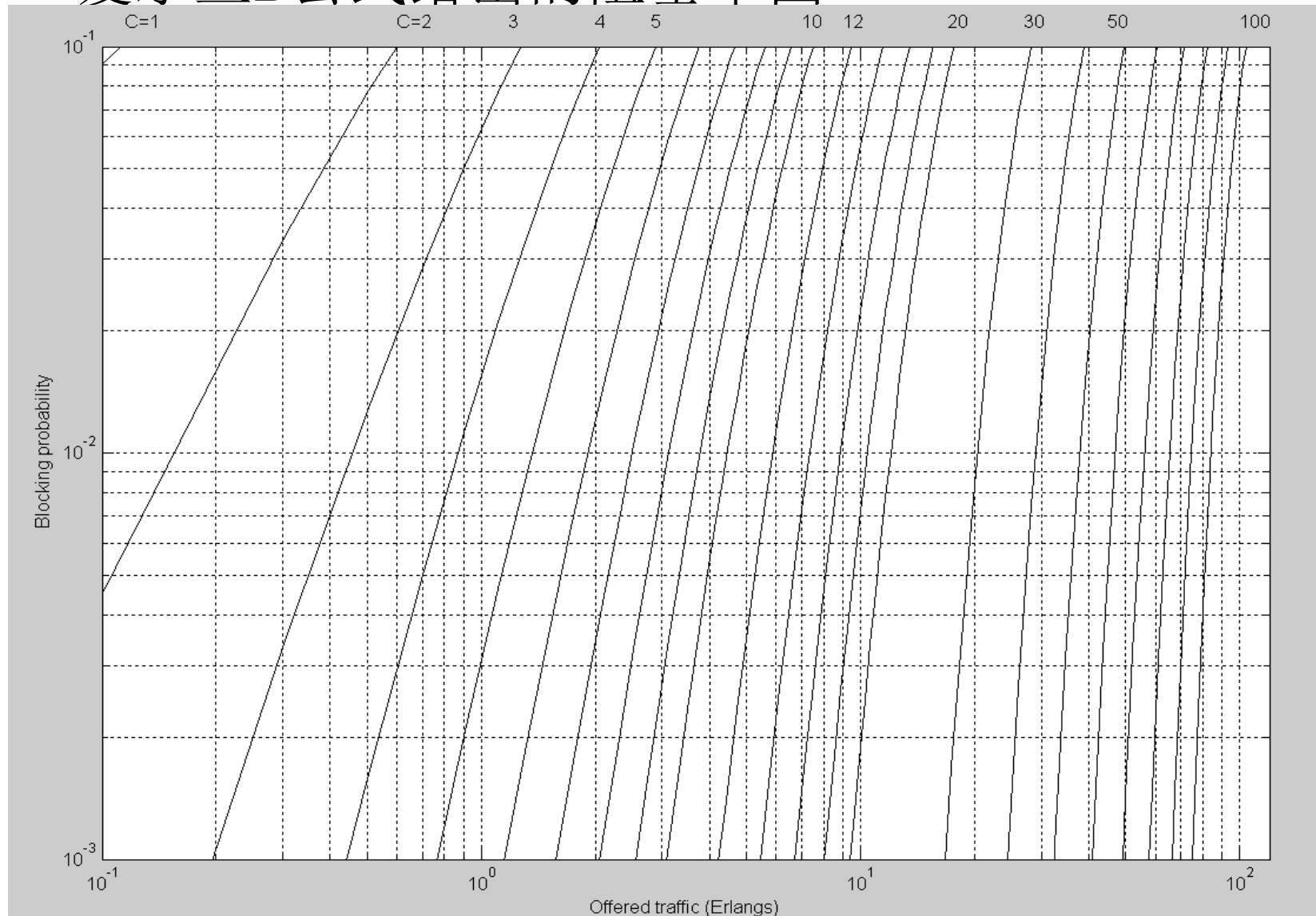
```
% File: erlanb_b.m
function erb = erlang_b(A, c)
% A = offered traffic in Erlangs.
% c = number of trunked channels.
num = A^c;
sum = 0;
for k=0: c
    kfact = prod(1: k);
    term = (A^k) / kfact;
    sum =sum + term;
end
cfact = prod(1: c);
den = cfact*sum;
erb = num/den;
% End of function file.
```

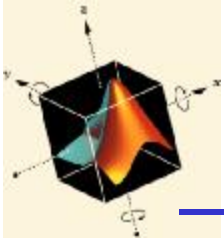


3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

15

爱尔兰B公式给出的阻塞率图





3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

16

给定爱尔兰B公式就可以估算蜂窝系统中小区簇的大小N对系统容量影响。

举例：考虑一个蜂窝系统，整个系统前向和后向信道总共有400对，每个蜂窝半径为5km，基站位于每一个小区中心，并配置有全向天线。假设每个用户产生0.02爱尔兰话务量，使用的簇大小为 $N=7$ 。假设用户在服务区内均匀分布，而分配给每个小区的信道为 $N_c=400/7 \approx 57$ 。进一步假设阻塞后被清除，可接受的阻塞率 $P_B=0.02$ ，利用爱尔兰B公式可得能承受的最大话务量

$$A_c=46.8 \text{ 爱尔兰/小区}$$

每小区可支持的用户数为

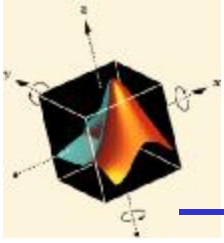
$$U=A_c/A_u=2340 \text{ 用户/小区}$$

如果簇大小为 $N=3$ ，其他均不变，可得每小区可分配信道数为 $N_c=400/3 \approx 133$ ，于是每小区课程在话务量最大为

$$A_c=120.1 \text{ 爱尔兰/小区}$$

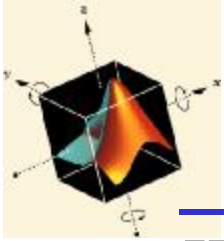
每小区可支持用户数为

$$U=A_c/A_u=6005 \text{ 用户/小区}$$



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模 17

可以看出，通过减小簇大小，增加了复用和中继效率，因此获得了更高容量。然而，簇越小同频小区越近，复用距离越小，所以干扰越大，链路质量越差。



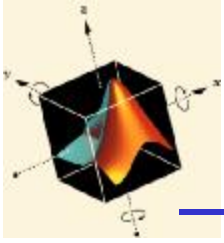
3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

18

II 信道模型

在分析蜂窝系统的性能时，非常重要的就是精确的建立无线传播对接收信号的影响模型，因为这些影响通常是系统性能恶化的主要原因。接收信号的统计特性主要涉及到两个重要的传播效应：小尺度衰落以及阴影衰落（大尺度衰落）。其中小尺度衰落是由局部区域的多径造成的，而阴影是由诸如树木、建筑物等因素引起本地平均信号的随机衰减造成的。测量表明，无线通信系统的本地平均电平可以用对数正态随机变量精确的建模，当用分贝表示时，服从正态分布。由面积均值和标准差来刻画。面积均值是发射机或接收机分隔距离、发射机功率级、天线增益的函数，而阴影的标准差取决于物理环境。

尽管在某些情况下，有用信号和干扰信号的阴影是性能变差的主要原因，但在一般的系统设计和仿真中，必须同时考虑小尺度衰落的影响。然而由于抵消小尺度衰落影响的技术的广泛应用，如空间分集、扩频、编码和交织、技术等，我们可以认为接收信号主要取决于大尺度阴影影响。为了简单起见，假设平均掉了小尺度的影响，因此仅考虑阴影和路径损耗。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

19

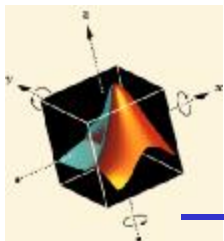
假设平均掉了小尺度衰落影响，而有用信号或单个干扰信号的本地平均功率级呈现出对数正态变化。如果使用dBW表示，本地平均功率级可以建模为 $X = \log_{10} r = m_x + c \text{ dBW}$

这里， m_x 是区域的平均功率级， C 是标准差 s_x 的零均值正态随机变量，这是由大尺度障碍造成的阴影。区域平均功率通常建模如下：

$$m_x = P_T + G_T(q_T, f_T) + G_R(q_R, f_R) - 10Kg \log_{10} d \text{ dBW}$$

其中， d 为发射机和接收机间隔， g 为路径损耗指数， P_T 为发射功率，发射和接收天线增益为 G_T G_R ， K 是模型中所有不变项组成的， q_T 和 f_T 是发射端到接收端的发射俯仰角和方位角，

q_R 和 f_R 是信号到达接收天线的到达俯仰角和方位角。这四个角度取决于移动台和基站天线的相对位置。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

20

举例

例17-2 考虑一个移动台接收来自基站的信号，如图17-4(a)所示。发射机和接收机相隔距离 $d = 1200$ 米。假设基站和移动台之间的通信链路通过视距传播。坐标系如图所示且用简单的几何表示，于是我们可以确定基站发射信号的方位角为：见图17-4(b)：

$$\phi_T = \cos\left(\frac{663.3}{1200}\right) = 56.4^\circ$$

类似地，根据采用的坐标系，移动台天线接收的信号方位角为：

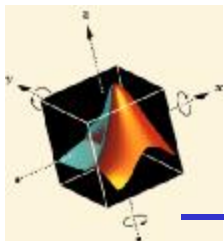
$$\phi_R = 236.4^\circ$$

假设基站天线高30米，用户所持的移动电话离地1.5米高，也如图所示。再使用简单的几何运算，得基站到移动台的发送信号的俯仰角为

$$\theta_T = 180^\circ - \tan\left(\frac{1200}{30 - 1.5}\right) = 91.6^\circ$$

类似地，到达移动台天线的信号的俯仰角为

$$\phi_R = 88.4^\circ$$



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

21

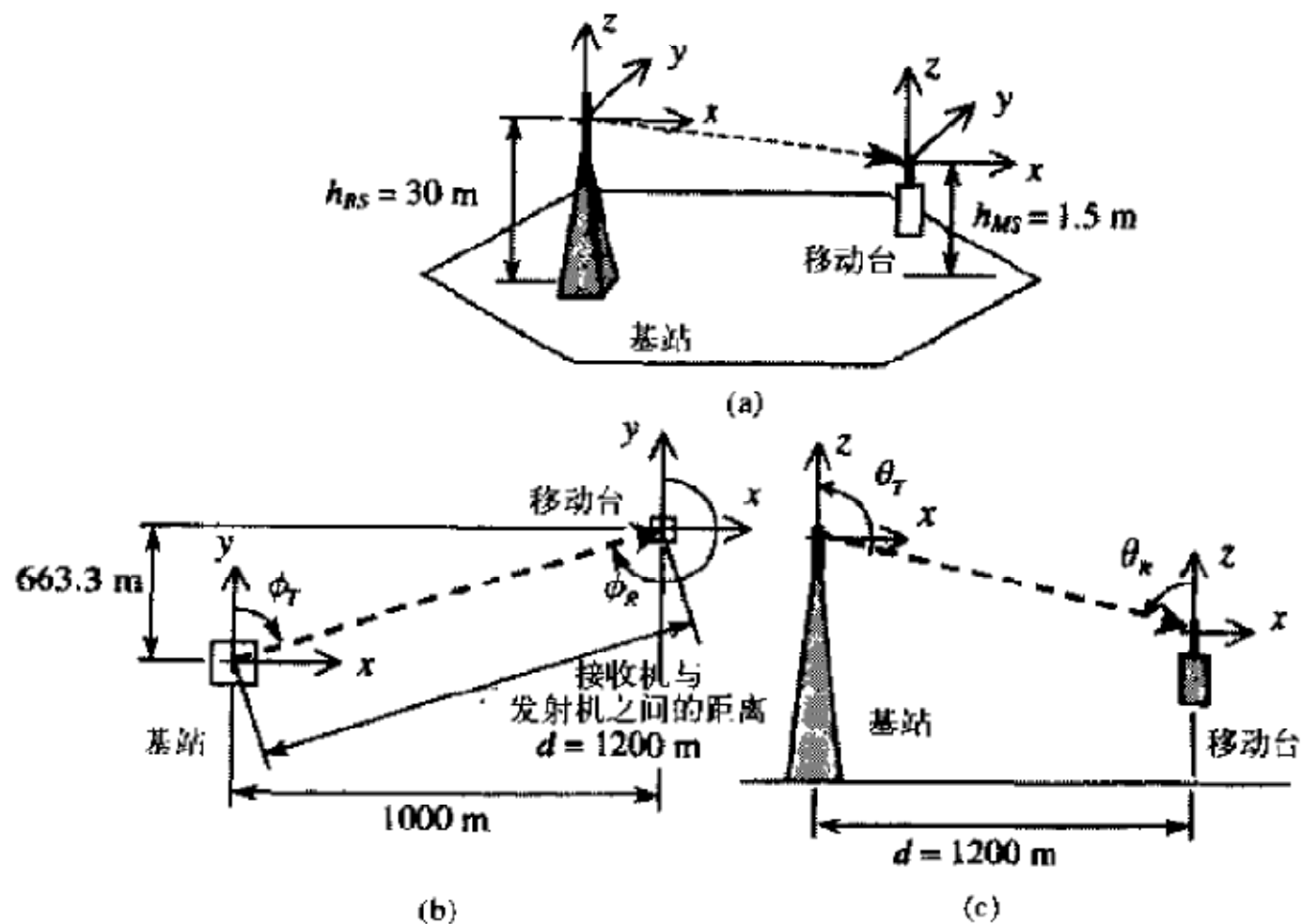
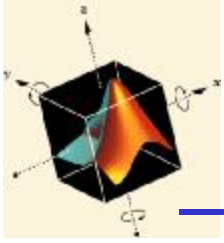


图17-4 发射角和到达角



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

22

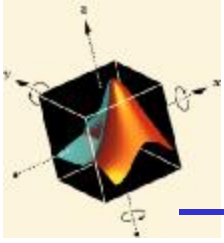
从前面的例子可以得到一个重要结论：对于宏蜂窝系统，蜂窝半径大于1km，收发距离T- R距离远大于基站和移动台天线之间的高度差时，可以假设

$$q_T = q_R \approx 90^\circ$$

并省略区域平均功率 \overline{P} 表达式中的 q_T , q_R ，于是有

$$G_T(q_T, f_T) \Rightarrow G_T(q_T)$$

$$G_R(q_R, f_R) \Rightarrow G_R(q_R)$$

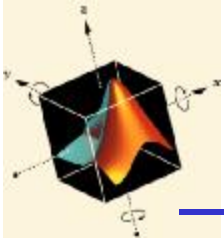


3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

23

III 扇区化的小区

为了减少同频干扰，蜂窝通信系统通常要在基站中使用几个扇区化天线。每个扇区化天线在指定扇区内发射，而且为每个扇区分配小区全部可用信道的一部分信道。因此，由于基站的定向性，减少了基站或移动台接收机天线的同频干扰。



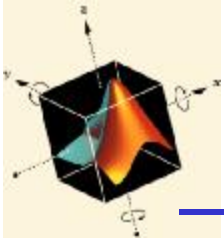
3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

24

举例：

考虑蜂窝系统中基站的双向链路上都配置了扇区化天线。假设波束宽度 $BW=120$ 度，扇区化天线的正反向比是无穷大，因此在波束宽度之外没有功率发射。还假设使用的簇大小为 $N=4$ 。首先考虑前向链路，由于基站天线的定向性，第一层同频小区干扰基站数由6减为2，反向链路上也由6减为2，见后图. 可见，扇区化是减少同频干扰的有效办法。显然减弱程度取决于扇区化天线的波束宽度和使用的簇大小。

实际中使用的扇区天线的正反向比是有限的，因此来自第一层同频小区的干扰小区数仍为6，不过其中的一些变得很弱，因为经正反向比衰减了。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

25

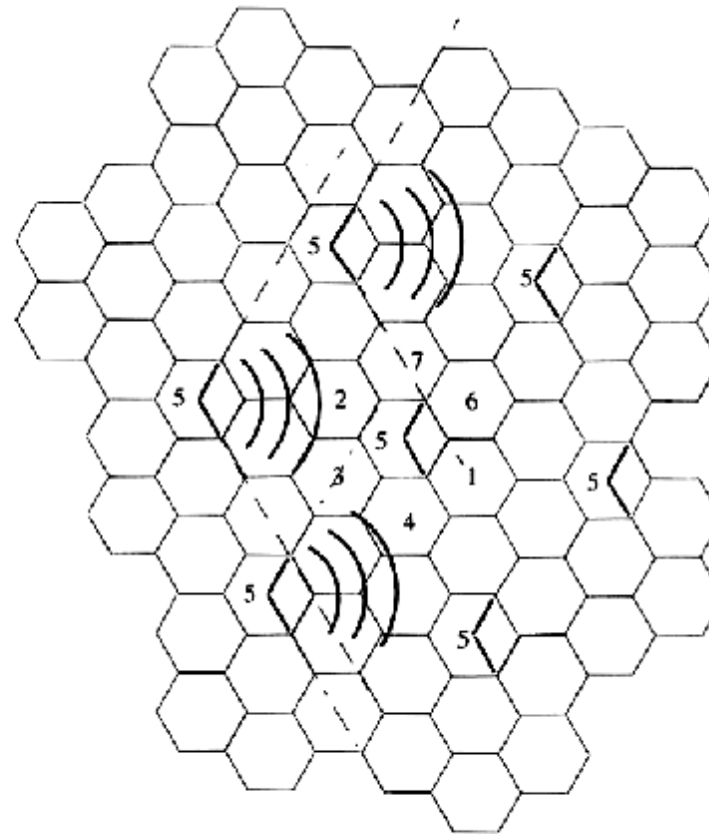
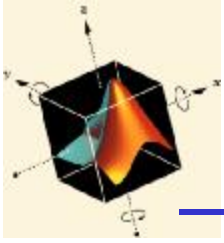


Figure 3.11 Illustration of how 120° sectoring reduces interference from co-channel cells. Out of the 6 co-channel cells in the first tier, only two of them interfere with the center cell. If omnidirectional antennas were used at each base station, all six co-channel cells would interfere with the center cell.



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

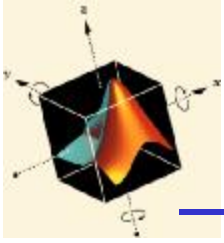
26

IV 总的同频干扰

基于接收到的单个干扰信号仅受阴影和路径损耗的影响这一假设，总的同频干扰可以建模为单个干扰信号的复合，他们的本地平均功率级均服从对数正态变化。通常假设每一个干扰的相移因散射而变化显著，于是我们可以假设相位是随机的，因而在本地区域做平均时，信号是非相干叠加的。因此，给定位置的总同频干扰 I 可以建模为对数正态分布信号之和，即

$$I = \sum_{i=1}^k I_i$$

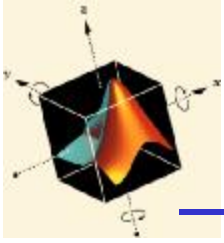
其中 I_i 在以分贝表示时，可以用式 $X = \log_{10} r = m_x + c$ dBW 来建模。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模 27

人们广泛接受这么一个事实，即对数正态分布变量的和可以近似的表示为另一个对数正态分布。两种流行的方法有wilkinson和schwartz与yeh方法。我们一旦知道每一个单独的同频干扰信号 I_i ，也就是说已知了 I_i 的均值 m_{I_i} 和 s_{I_i} ，那我们就可以用wilkinson和schwartz与yeh方法来计算总的干扰的均值和标准差， m_I 和 s_I

参照书上: p406, wilkinson

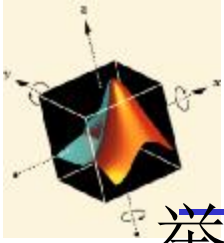


3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

28

V 扇区化的影响

既然知道了怎样计算总的同频干扰，下面更进一步的分析扇区化对蜂窝系统容量和链路质量的影响。我们已经知道扇区化能减少同频干扰，但以牺牲中继效率为代价，这样就会减少小区承载的话务量。为每个扇区分配小区全部可用信道的一个子集，根据话务量理论，当信道被分成信道子集时，各信道子集承载的最大话务量之和要低于总的信道库可承载的最大化话务量。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

29

举例：

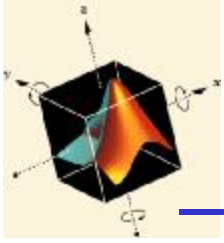
考虑一个AMPS蜂窝系统，使用的簇大小为 $N=4$ ，另外还假设有395个可用的前向和反向信道。考虑两个不同配置：1) 基站配置全天线，2) 基站使用扇区化天线。分析最大话务量和同频干扰。这里分析前向链路。

1) 全向天线。

我们分析最差的情况，用户处于小区边缘。此时

$$SIR_{\text{mean}} = m_s - m_I (\text{对数运算}) \text{dB}$$

其中， m_s 是有用信号的区域平均功率， m_I 是总干扰的区域平均功率。



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

30

为了计算 m_s , m_I , 我们使用式

$$m_x = P_T + G_T(q_T, f_T) + G_R(q_R, f_R) - 10Kg \log_{10} d \text{ dBW}$$

假设移动台是全向天线 $G_R(q_R, f_R) = 0\text{dB}$, $K=1$, 而且所有基站具有相同功率级 $P_T=0\text{dBm}$ 。因此可得

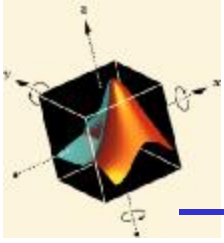
$$m_s = -10g \log_{10} R$$

和

$$m_I = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^6 10^{(-10g \log_{10} d_i)/10} \right)$$

其中 R 是小区半径, g 是路径损耗指数, 而 d_i , $i=1, 2\ldots 6$, 是接收机和发射机间隔。

使用簇大小为 $N=4$, $R=1000$, 和 $g=4$, 我们可以得到



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

31

$$d1=d4=3605.55\text{m}$$

$$d2=d3=2645.75\text{m}$$

以及

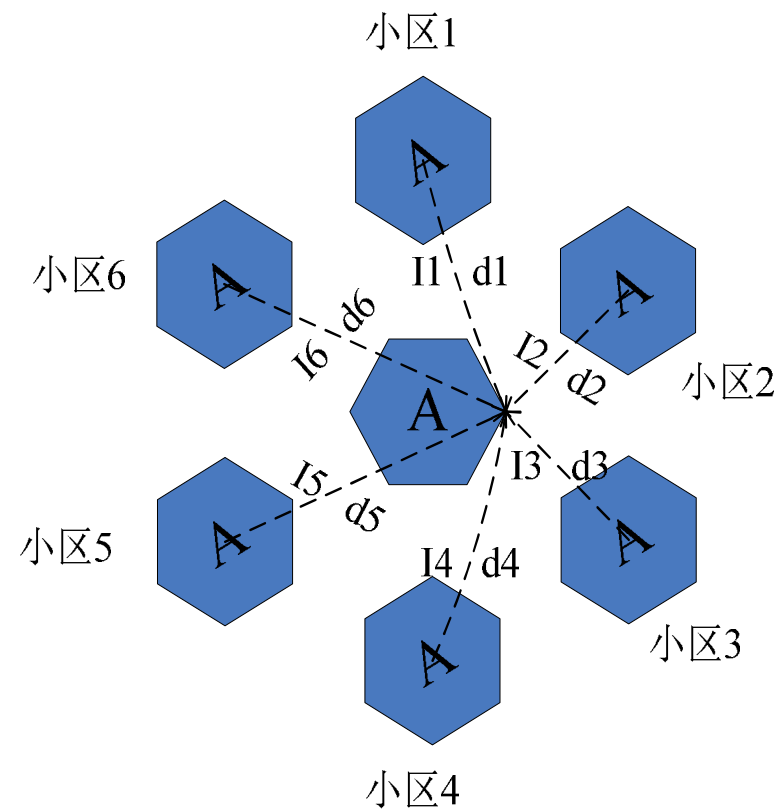
$$d5=d6=4358.90\text{m}$$

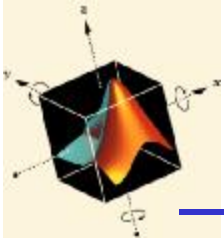
因此有

$$m_s = -120\text{dBm}$$

$$\text{和 } m_I = -132.35\text{dBm}$$

$$\text{这又导出 } \text{SI R} = m_s - m_I = 12.35\text{dB}$$





3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

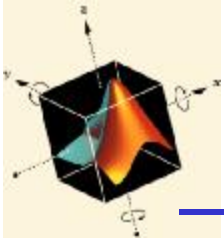
32

为了进行话务量分析，我们再次假设 $N=4$ ，并假设小区内的用户均匀分布。每个小区分配信道数 $N_c=395/4\approx98$ 。假设阻塞被清除，阻塞率 $P_B=0.02$ ，根据爱尔兰公式，每个小区的最大可承载话务量是

$$A_c=86 \text{ 爱尔兰/小区}$$

如果每个用户产生0.02爱尔兰话务量，全向小区在阻塞率为0.02时可以支持高达

$$86/0.02 \approx 4300 \text{ 个用户}$$



3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

33

2) 小区进行120度扇区化

使用与1) 相同方法。假设正反向比为无穷大，从而仅有小区5、6对中央小区造成干扰。于是

$$m_I = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=5}^6 10^{(-10 \log_{10} d_i)/10} \right) = -142.57 \text{ dBm}$$

$$m_S = -120 \text{ dBm}$$

最后得 $SIR = 22.6 \text{ dB}$

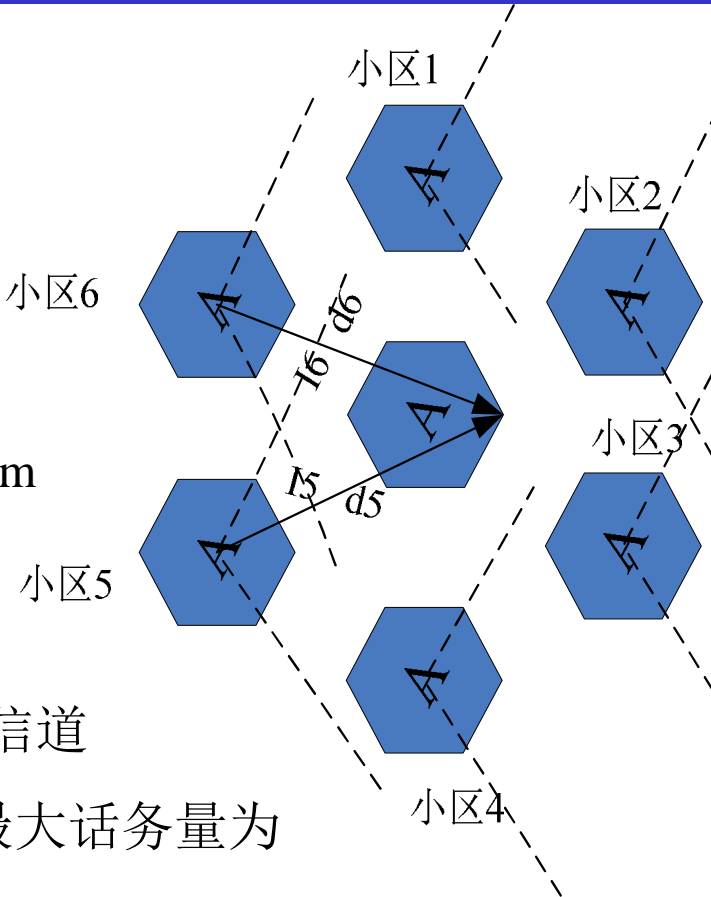
每扇区信道数: $N_S = 395 / (4 * 3) \approx 33$ 信道

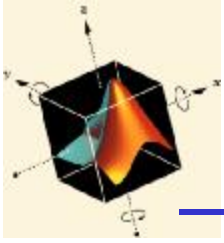
设阻塞率 $P_B = 0.02$ ，则每扇区可承载最大话务量为

$A_S = 23.7$ 爱尔兰/扇区

因此每小区 $A_C = 71.1$ 爱尔兰/小区

若没用户 0.02 爱尔兰话务量，则每小区可支持 **3550** 个用户

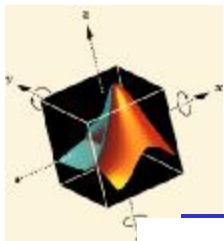




3建立模型-蜂窝无线通信系统建模

34

从这些结果可以看出，与全向天线情况相比，通过使用扇区化链路质量大约提高了**10dB** ($\Delta \text{SIR} = 22.56 - 12.35 = 10.21\text{dB}$)，但这种链路质量的改善是以降低中继效率为代价的。每个小区的承载话务量是从全天线的**86爱尔兰/小区**降为扇区化小区的**71.1爱尔兰/小区**，在扇区化后，如果有必要，可以减小N来增加容量。



4实验模型-系统仿真流程图

35

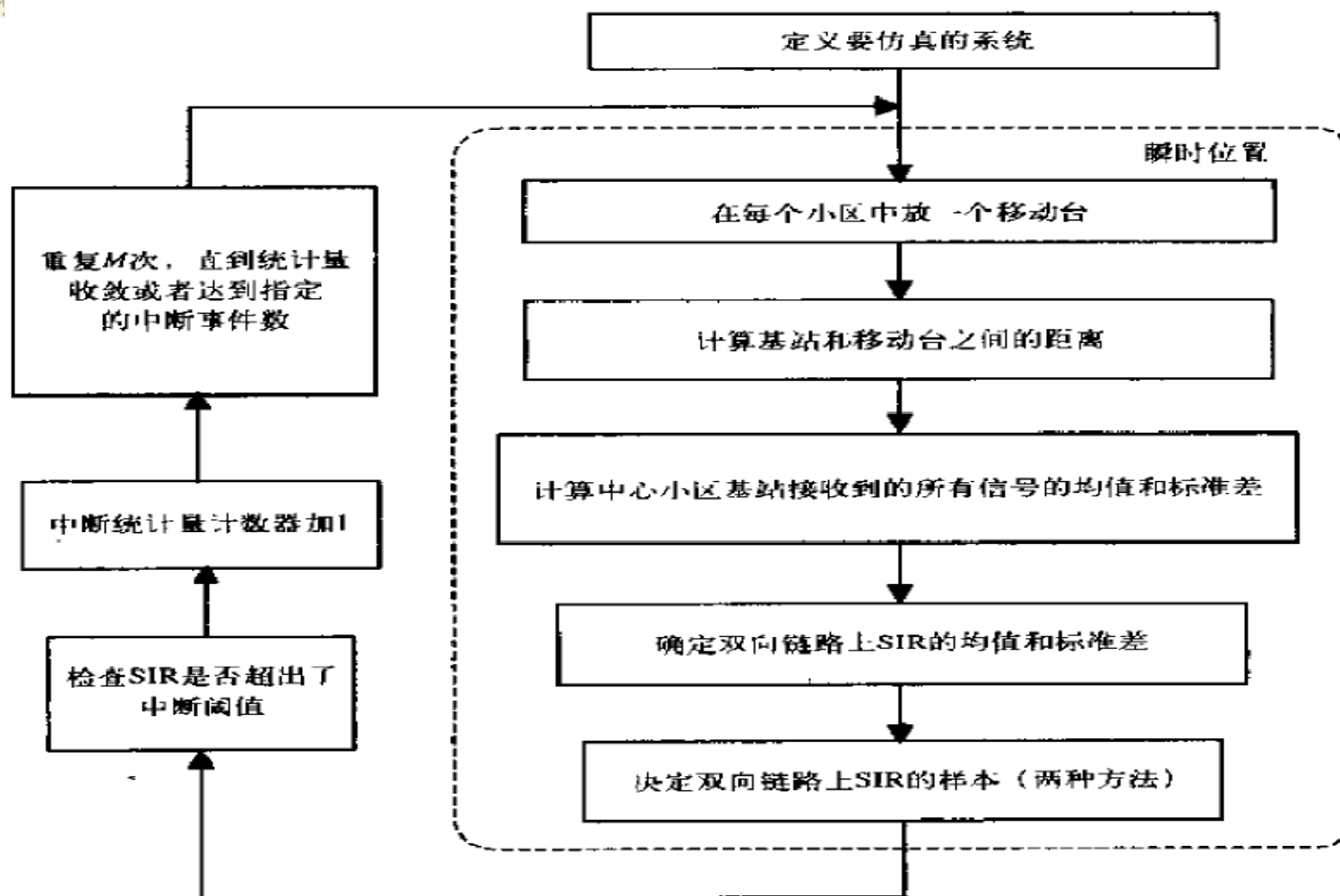
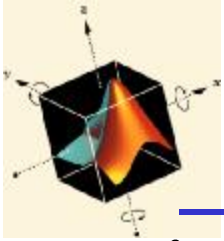


图17-7 用蒙特卡罗仿真估计蜂窝系统中SIR和中断的流程图



4实验模型- 系统仿真

36

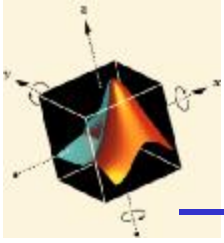
i 定义要仿真的系统

我们要仿真的系统具有特征如前所述的中继系统、信道模型、扇区化小区。这里定义传播特性（信道参数）以及同频小区的位置。

传播特性（信道参数）包括：

- Ø小区半径
- Ø路径损耗指数
- Ø以分贝为单位的对数正态阴影的标准差
- Ø基站发射功率级
- Ø每个小区的扇区数
- Ø扇区化天线的正反向比
- Ø要仿真的瞬时位置组数

这些都在仿真中输入设定。

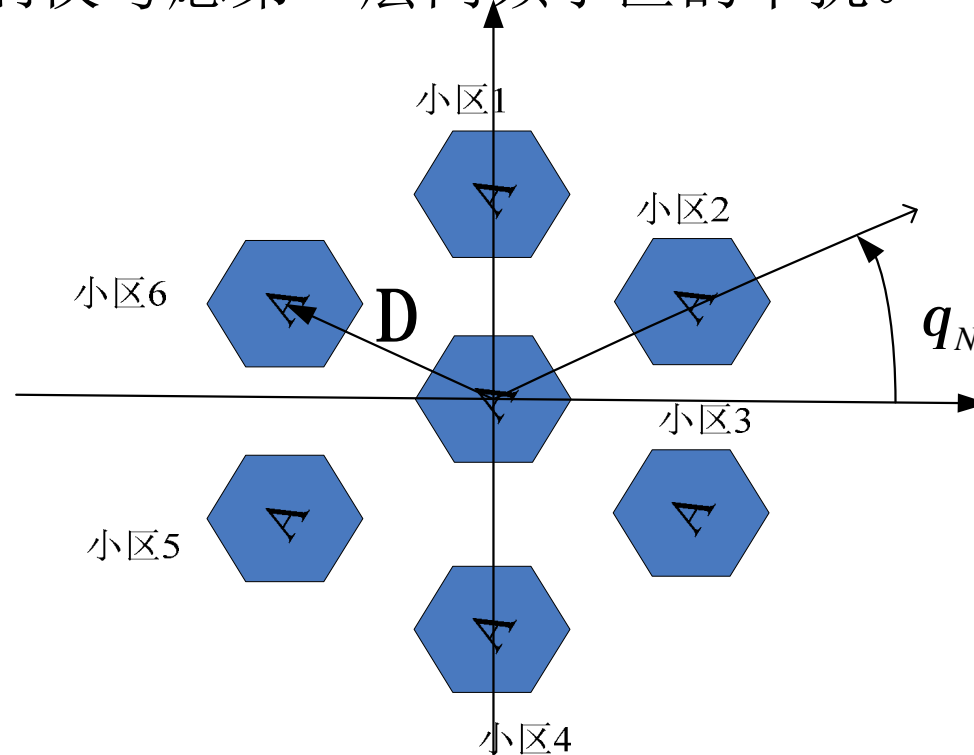


4实验模型- 系统仿真

37

同频小区的位置

同频小区的位置由蜂窝系统簇大小和小区半径决定。同频小区的第一层位于以中心小区基站为圆心、半径为 $D = \sqrt{3N} R$ 的圆周上，而且彼此的距离相等。如图所示，我们仅考虑第一层同频小区的干扰。





4实验模型- 系统仿真

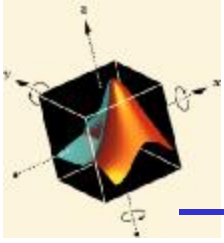
38

第*i* 个同频小区的位置用向量可以表示为:

$$x_{BS_i} \hat{x} + y_{BS_i} \hat{y} = \sqrt{3N} R \{ \cos(q_N + (i-1)p / 6) \hat{x} + \sin(q_N + (i-1)p / 6) \hat{y} \}$$

实现这部分的仿真代码如下:

```
%location of base station(center cell is located at x=0 y=0)
%location(angular) of the center cell of each cluster in the
first tier
theta_N = [pi/6 0 pi/6 asin(1/(2*sqrt(7)))];
%angular distance between the center cells of all 6 clusters in
first tier
theta = pi/3*[0:5]';
aux_1=[1 0 2 3 0 0 4];
ind = aux_1(cluster_size);
%location [x,y] of the center cells of all clusters in the first
tier
bs_position=[sqrt(3*cluster_size)*r_cell*cos(theta +
theta_N(ind)) ...
sqrt(3*cluster_size)*r_cell*sin(theta + theta_N(ind))];
```



4实验模型- 系统仿真

39

ii 把移动台放入每一个小区

假设移动台在小区内均匀的随机分布。同频干扰发生在分配了同一组信道的扇区间。在仿真中，假设位于中央小区和同频小区的移动台处于同一扇区。使用**极坐标描述**，即移动台距离各自中心小区基站的距离 r 以及移动台与基站传播方向与参考方向间的夹角 β 。这样在以被研究小区为中心小区的坐标系中的移动台的**绝对位置**就可以由同频小区的位置以及移动台相对于各自小区的位置决定。

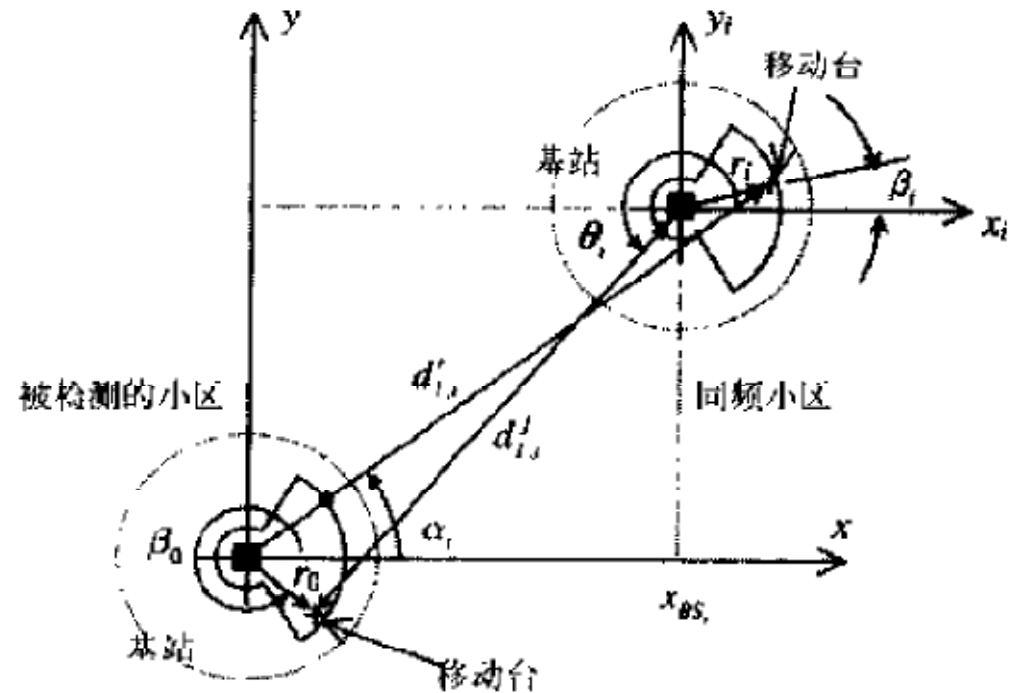
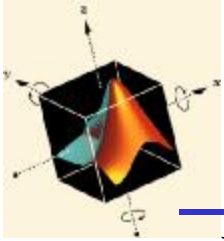


图17-10 移动台位置的表示



4实验模型- 系统仿真

40

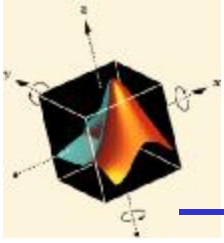
未扇区化的小区中，移动台均匀分布在小区内，因此

β 在 $[0, 2\pi]$ 内随机分布，

距离 r 服从概率分布 $f_R(r) = 2r / R^2$

在扇区化后，移动台以等概出现在各扇区。且一旦随机选定扇区后，移动台就随机出现在所选扇区内。这部分仿真代码如下：

```
%determination of the sector to simulated in this snapshot
%select randomly a sector
sector=uni drnd(num_sectors(sec));
%place the desired mobile within the select sector
des_user_beta=rand(1) * phi_BW(sec) + phi_center(sector, sec);
des_user_r=sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
%place co-channel mobiles within the selected sector of co-channel cells
co_ch_user_beta=rand(6, 1)*phi_BW(sec)+phi_center(sector, sec);
co_ch_user_r=sqrt(rand(6, 1))*(r_cell);
%co-channel mobile station and researched mobile station position
des_user_position=des_user_r*[cos(des_user_beta) sin(des_user_beta)];
co_ch_user_position=[co_ch_user_r.*cos(co_ch_user_beta) ...
    co_ch_user_r.*sin(co_ch_user_beta)] + bs_position;
```

4实验模型- 系统仿真

41

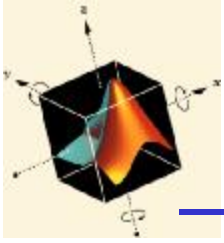
iii 计算移动台和基站之间的距离

Ø同频移动台到中心小区基站的向量（反向链路干扰使用）

中心小区基站坐标（0，0）- 各同频移动台坐标

Ø同频小区基站到中心移动台向量（前向链路干扰使用）

中心移动台坐标- 各同频小区基站坐标



4实验模型- 系统仿真

42

iv 计算双向链路上接收到的有用信号和干扰信号的均值和标准差

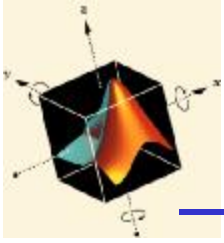
Ø有用信号前向和反向链路均值（dBW）

$$m_S^f = P_{T,BS} - 10g \log_{10} r_0 \text{ dBW}$$

$$m_S^r = P_{T,MS} - 10g \log_{10} r_0 \text{ dBW}$$

, f代表前向, r代表反向。在表达式中, 双向链路路上的基站天线增益都被设置成0dBW, k=1.

Ø有用信号前向和反向链路的标准差等于阴影的标准差, 因此 $S_S^f = S_S^r = S$



4实验模型- 系统仿真

43

Ø总干扰信号

总频频干扰建模为单个同频干扰之和

$$I_f = \sum_i I_i^f \quad I_r = \sum_i I_i^r$$

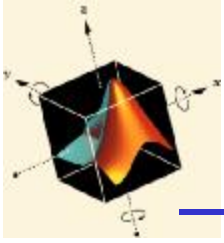
Ø干扰信号前向和反向链路均值 (dBW)

$$m_I^f = P_{T,BS} + G_{T,i}(f_{T,i}) - 10g \log_{10} d_{L,i}^f \text{ dBW}$$

$$m_I^r = P_{T,MS} + G_{R,0}(f_{R,i}) - 10g \log_{10} d_{L,i}^r \text{ dBW}$$

$K=1$, $G_{T,i}(f_{T,i})$, $G_{R,0}(f_{R,i})$ 取决于移动台的相对位置, 具有如下描述:

$$G_{T,i}(f_{T,i}) = G_{R,0}(f_{R,i}) = \begin{cases} 0 \text{ dB} , & \text{扇区内} \\ -B \text{ dB} , & \text{扇区外} \end{cases}$$



4实验模型- 系统仿真

44

Ø干扰信号前向和反向链路标准差

干扰信号的标准差等于阴影的标准差

$$S_{I,i}^f = S_{I,i}^r = S$$

Ø总干扰信号的均值和标准差

使用wilkinson方法，原理如前所述，多个对数正态分布和仍然是对数正态分布。由以上计算的各路干扰信号的均值和标准差做参数代入，即可得到总干扰信号的均值和标准差 $m_I^f, m_I^r, S_I^f, S_I^r$



实现iv的代码如下:

```
%desired user
```

```
m_S_fwd=P_BS- 10*K*n_path*log10(des_user_r);
```

```
%co-channel users
```

```
%location of desired mobile with respect to co-channel cells
```

```
aux_01=(des_user_position(1) - bs_position(:, 1) + ...
```

```
sqrt(-1)*(des_user_position(2)-bs_position(:, 2)));
```

```
beta_fwd=angle(aux_01);
```

```
d_I_fwd=abs(aux_01);
```

```
%computation of antenna gain at co-channel cells
```

```
clear gain_fwd
```

```
for k=1:n_co_ch_users
```

```
if (beta_fwd(k) >= ...
```

```
sector_min(sector, sec) & beta_fwd(k) < ...
```

```
sector_max(sector, sec))
```

```
gain_fwd(k)=in_beam; % 这就是G
```

```
else
```

```
gain_fwd(k)=out_beam;
```

```
end
```

```
end
```

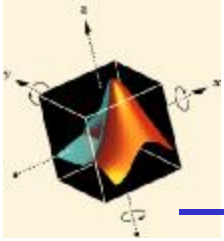
```
%computation of mean value and standard deviation
```

```
m_I_fwd=P_BS- 10*K*n_path*log10(d_I_fwd)+gain_fwd. ';
```

```
sigma_I_fwd=sigma_int*ones(length(m_I_fwd), 1);
```

```
[m_I_total_fwd, sigma_I_total_fwd]=...
```

```
wilkinson(m_I_fwd, sigma_I_fwd, corr_fwd);
```



%reverse link

%desired user

m_S_rev=P_MS- 10*K*n_path*log10(des_user_r);

%co-channel user

%location of co-channel user

aux_02=(co_ch_user_position(:, 1)+...

sqrt(-1)*co_ch_user_position(:, 2));

beta_rev=angle(aux_02);

d_I_rev=abs(aux_02);

%computation of antenna gain at center cell

clear gain_rev

for k=1:n_co_ch_users

if (beta_fwd(k) >= ...

sector_min(sector, sec) & beta_rev(k) < ...

sector_max(sector, sec))

gain_rev(k)=in_beam; % 这就是G

else

gain_rev(k)=out_beam;

end

end

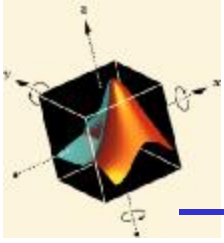
%computation of mean value and standard deviation

m_I_rev=P_MS- 10*K*n_path*log10(d_I_rev)+gain_rev. ';

sigma_I_rev=sigma_int*ones(length(m_I_rev), 1);

[m_I_total_rev, sigma_I_total_rev]=...

wilkinson(m_I_rev, sigma_I_rev, corr_rev);



4实验模型- 系统仿真

47

√ 确定双向链路SI R的均值和标准差

因为有用信号和总同频干扰都用dB表示时是正态随机变量，所以用dB表示的信噪比SI R也是正态随机变量。对于前向链路，有

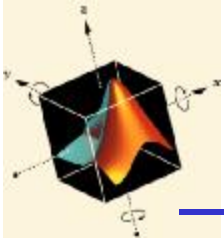
$$SIR^f = S_{dB}^f - I_{dB}^f$$

其均值和标准差为

$$m_{SIR}^f = m_S^f - m_I^f$$

$$S_{SIR}^f = \sqrt{(S_S^f)^2 + (S_I^f)^2}$$

反向链路亦然。

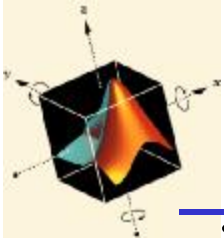


4实验模型- 系统仿真

48

这部分实现代码如下：

```
%calculate SIR step1
m_SIR_fwd(i)=m_S_fwd-m_I_total_fwd;
sigma_SIR_fwd(i)=sqrt(sigma_S^2+sigma_I_total_fwd^2-...
    2*corr_fwd*sigma_S*sigma_I_total_fwd);
m_SIR_rev(i)=m_S_rev-m_I_total_rev;
sigma_SIR_rev(i)=sqrt(sigma_S^2+sigma_I_total_rev^2-...
    2*corr_rev*sigma_S*sigma_I_total_rev);
% final outage probability
p_outage_fwd_resolved(i,j)=1-q((SIR0(j)-
m_SIR_fwd(i))/sigma_SIR_fwd(i));
p_outage_rev_resolved(i,j)=1-q((SIR0(j)-
m_SIR_rev(i))/sigma_SIR_rev(i));
```

4实验模型- 系统仿真

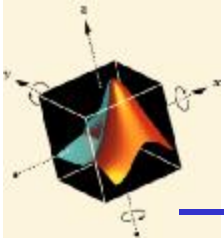
49

vi 计算中断概率（3种方法）

Ø解析方法

如前所述，我们可以得到针对每一组瞬时位置时用dB表示的SIR均值和标准差。于是我们可以用前面计算的解析方法计算中断概率

$$\begin{aligned}
 P_{outage}(SIR_0) &= \Pr[SIR < SIR_0] \\
 &= \int_0^{SIR_0} p_{SIR}(x) dx \\
 &= \int_0^{SIR_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi} s_{SIR}} \exp\left[-\frac{(x - m_{SIR})^2}{2s_{SIR}^2}\right] dx \\
 &= 1 - Q\left(\frac{SIR_0 - m_{SIR}}{s_{SIR}}\right)
 \end{aligned}$$



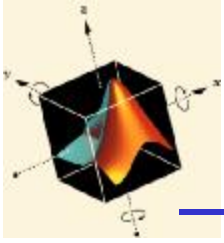
4实验模型- 系统仿真

50

Ø蒙特卡罗方法

方法A: 对具有上述SIR均值和方差的正态随机过程进行SIR采样, 如果得到瞬时值 $sir < SIR0$ (中断阈值), 则中断次数加一, 重复足够多次直到 中断概率=中断次数/总测试次数 收敛到稳定值。代码如下:

```
SIR_fwd_2(i)=normrnd(m_SIR_fwd(i), sigma_SIR_fwd(i));
SIR_rev_2(i)=normrnd(m_SIR_rev(i), sigma_SIR_rev(i));
%samples of SIR, get the outage times for method A
if SIR_fwd_2(i) <= SIR0(j)
    outage_time_fwd_2(j)=outage_time_fwd_2(j)+1;
end
if SIR_rev_2(i) <= SIR0(j)
    outage_time_rev_2(j)=outage_time_rev_2(j)+1;
end
p_outage_fwd_2(j)=outage_time_fwd_2(j)/num_snapshots*100;
p_outage_rev_2(j)=outage_time_rev_2(j)/num_snapshots*100;
```



4实验模型- 系统仿真

51

方法B：对具有有用信号和单个干扰信号的均值和标准差的正态随机过程进行采样，得到有用信号和单个干扰信号的样本。然后利用下述公式，代入上述样本进行SI R计算

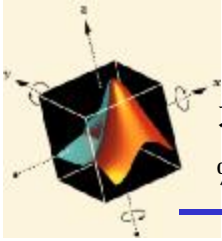
:

$$I^f = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^6 10^{I_i^f / 10} \right)$$

$$I^r = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^6 10^{I_i^r / 10} \right)$$

$$SIR^f = S^f - I^f$$

$$SIR^r = S^r - I^r$$



这部分代码如下

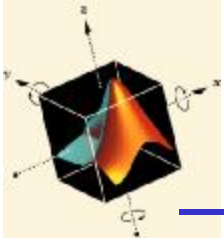
52

%calculate SIR sample, step2, method B

```
des_sig_spl_fwd=normrnd(m_S_fwd, sigma_S);
int_sig_spl_fwd=normrnd(m_I_fwd, sigma_I_fwd);
tot_int_sig_spl_fwd=10*log10(sum(10.^(int_sig_spl_fwd/10)));
SIR_spl_fwd_2B(i)=des_sig_spl_fwd-tot_int_sig_spl_fwd;
des_sig_spl_rev=normrnd(m_S_rev, sigma_S);
int_sig_spl_rev=normrnd(m_I_rev, sigma_I_rev);
tot_int_sig_spl_rev=10*log10(sum(10.^(int_sig_spl_rev/10)));
SIR_spl_rev_2B(i)=des_sig_spl_rev-tot_int_sig_spl_rev;
%samples of SIR, get the outage times for method B
if SIR_spl_fwd_2B(i) <= SIR0(j)
    outage_time_fwd_3(j)=outage_time_fwd_3(j)+1;
end
if SIR_spl_rev_2B(i) <= SIR0(j)
    outage_time_rev_3(j)=outage_time_rev_3(j)+1;
end

end

% samples of SIR, get the outage percent
p_outage_fwd_3(j)=outage_time_fwd_3(j)/num_snapshots*100;
p_outage_rev_3(j)=outage_time_rev_3(j)/num_snapshots*100;
```

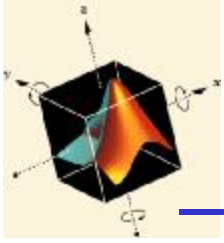


4实验模型- 系统仿真

53

系统性能可接受蜂窝面积比运算

从仿真过程可以看出，中断率可以通过把用户随机放置在选定小区的范围，然后把在每个位置计算出的中断概率进行统计平均得到的。由于进行了平均，在某个给定位置的高中断概率可以由另一个位置的低中断概率补偿。在性能分析中，希望有一种小区面积百分比度量以指示多大比重的小区具有可接受的或者不可接受的系统性能。



4实验模型- 系统仿真

54

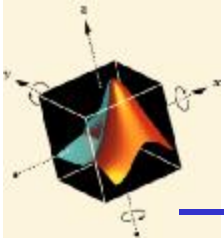
计算方法:

首先定义可靠性概率: SIR 大于给定阈值的概率。
显然有

$$P_{relia}(SIR_0) = \Pr[SIR > SIR_0] = 1 - P_{outage}(SIR_0)$$

则系统性能可接受的蜂窝面积百分比

$$P_{area}(SIR_0) = \frac{P_{relia}(SIR_0) > P_{min} \text{ 位置数}}{\text{所有位置数}}$$



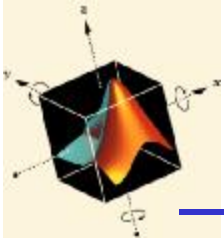
4实验模型- 系统仿真

55

实现代码:

```
if (1-p_outage_fwd_resolved(i,j))>p_relia
    fwd_relia_time(j)=fwd_relia_time(j)+1;
end
if (1-p_outage_rev_resolved(i,j))>p_relia
    rev_relia_time(j)=rev_relia_time(j)+1;
end

p_relia_fwd(j)=fwd_relia_time(j)/num_snapshots*100;
p_relia_rev(j)=rev_relia_time(j)/num_snapshots*100;
```



5 实验设计

56

实验1：上述三种计算中断率方法执行结果对比

实验2：对比以下六种不同配置下蜂窝系统性能-中断率

Ø 簇大小 $N=4$ ，全向天线

Ø 簇大小 $N=4$ ，120度扇区化天线

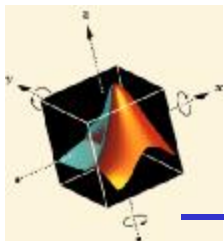
Ø 簇大小 $N=4$ ，60度扇区化天线

Ø 簇大小 $N=7$ ，全向天线

Ø 簇大小 $N=7$ ，120度扇区化天线

Ø 簇大小 $N=7$ ，60度扇区化天线

**实验3：对比以上六种不同配置下蜂窝系统性能-可接受
蜂窝面积比**



6仿真结果与分析

57

结果验证1：三种计算中断率方法执行结果对比

输入：

Command Window

 New to MATLAB? Watch this [Video](#), see [Demos](#), or read [Getting Started](#).

Number of snapshots = 1000

Cluster size (3, 4 or 7) = 7

Path loss exponent = 4 g

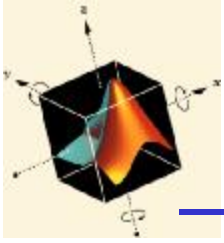
Shadowing std deviation - interference (dB) = 8 S

Shadowing std deviation - desired signal (dB) = 8

Sectorization (1=>60-sectoring, 2=>120-sectoring, 3=>omni). enter ---> 2

Front-to-back ratio of the BS antennas (dB) = 30

SIR threshold for outage (dB) = [0:40]

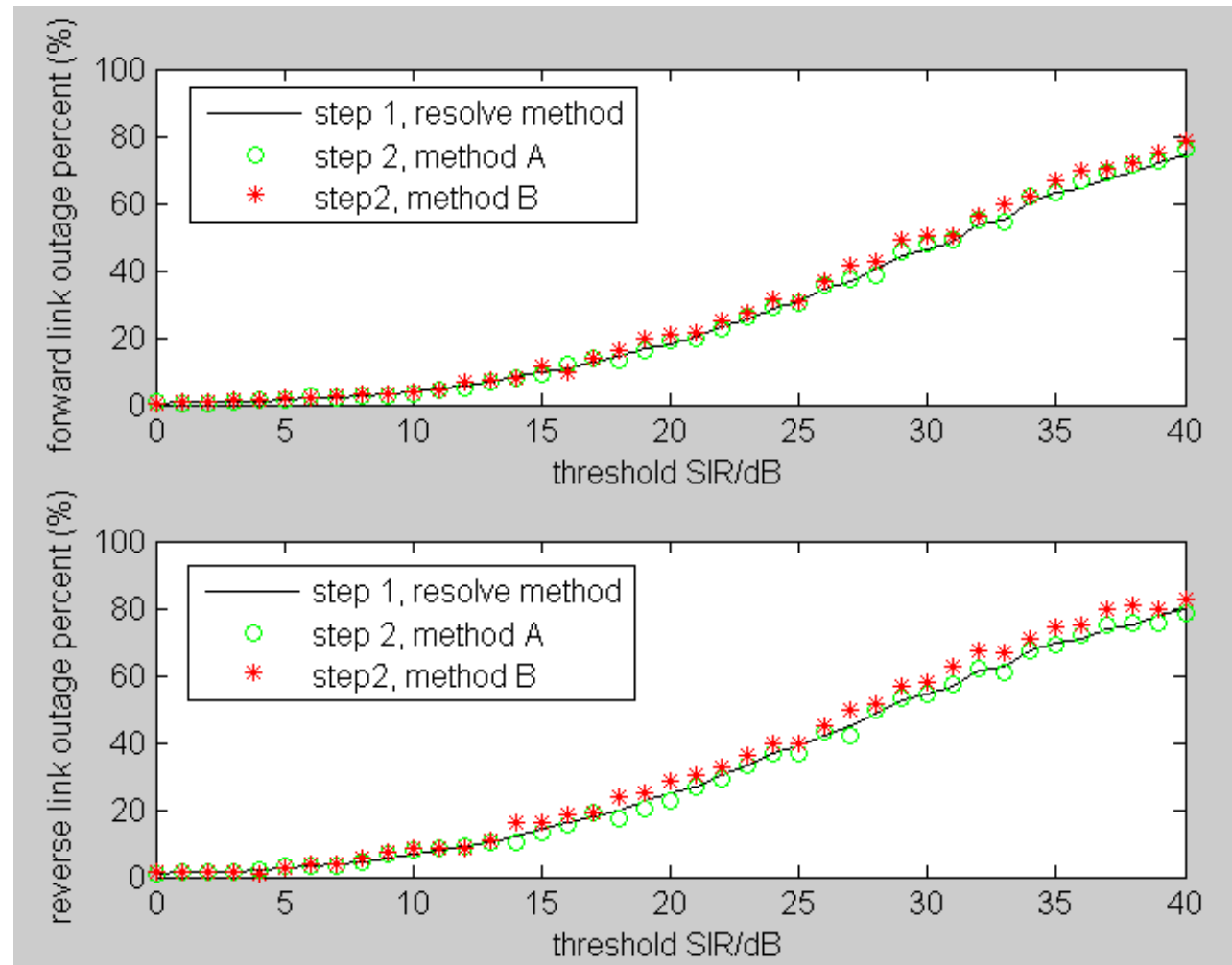


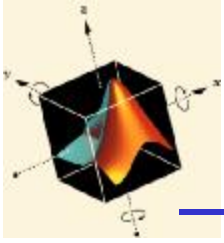
6仿真结果与分析

58

输出

三种方法得到的中断概率相同，可见解析法与蒙特卡罗方法得到的结果一致。





6仿真结果与分析

59

结果验证2：中断率

对比以下六种不同配置下蜂窝系统性能

Ø簇大小 $N=4$ ，全向天线

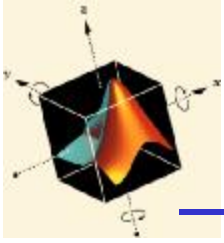
Ø簇大小 $N=4$ ，120度扇区化天线

Ø簇大小 $N=4$ ，60度扇区化天线

Ø簇大小 $N=7$ ，全向天线

Ø簇大小 $N=7$ ，120度扇区化天线

Ø簇大小 $N=7$ ，60度扇区化天线



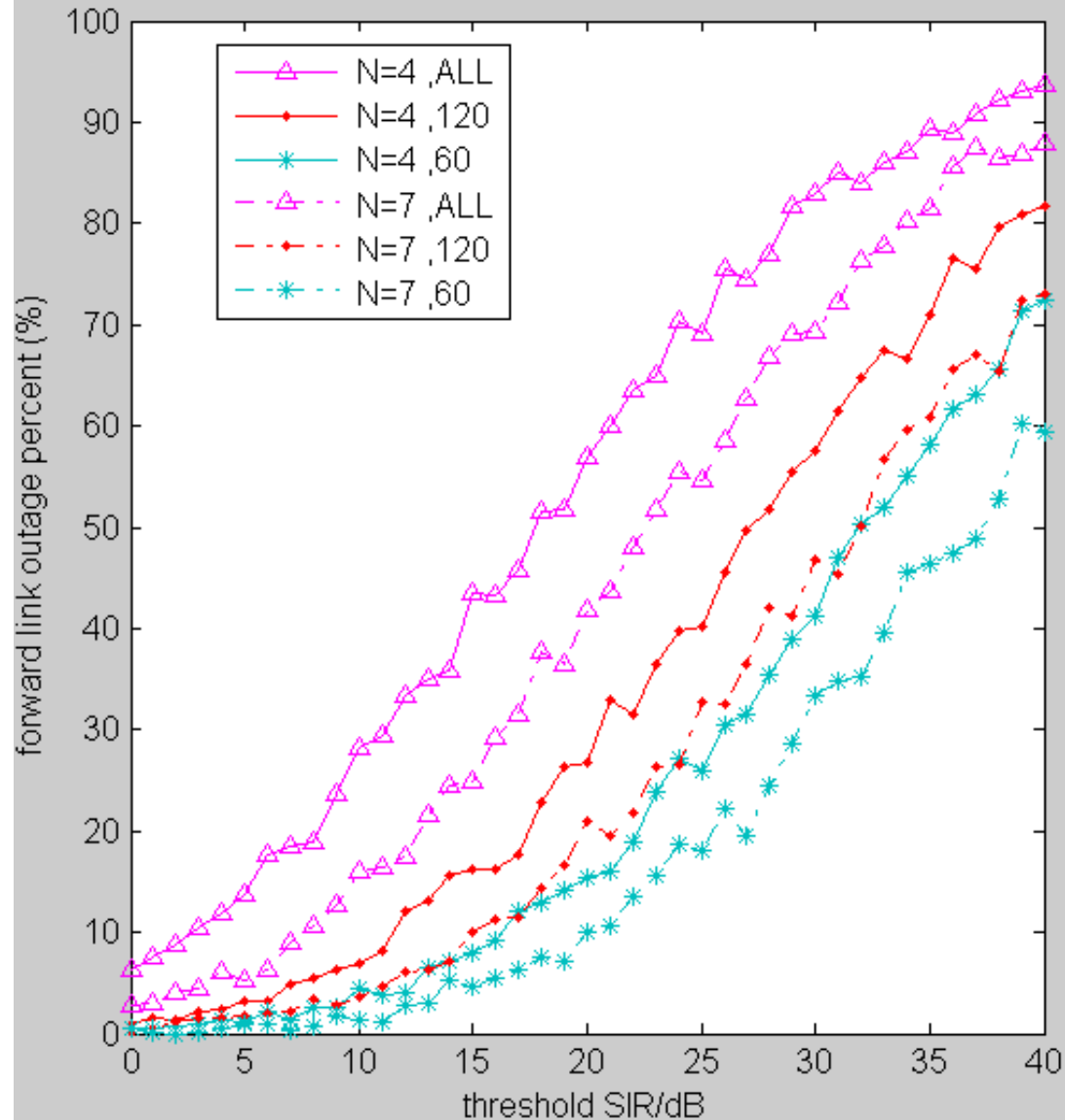
6仿真结果与分析

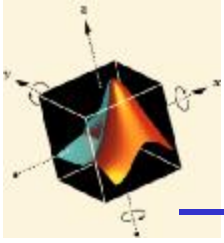
60

如图可见：

当簇大小 N 相同时，对前向中断概率而言，采用60度扇区化天线中断 $<$ 采用120度扇区化天线 $<$ 全向天线，也就是说对SIR而言正好相反，60度扇区化天线小区SIR最大，全向最小。验证了扇区化对蜂窝小区的影响。

对相同扇区化处理的蜂窝系统，采用 $N=4$ 的前向中断概率大于 $N=7$ ，验证了簇越小，同频干扰越大的结论。





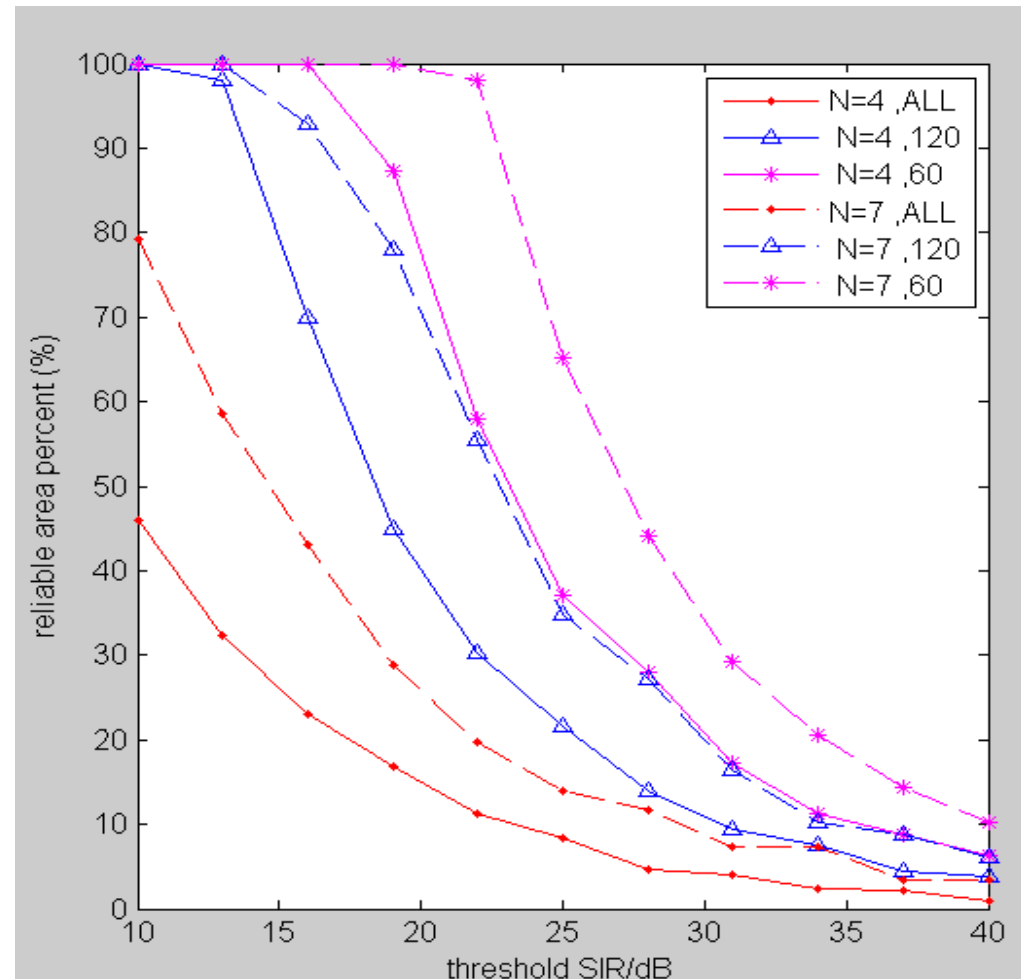
6仿真结果与分析

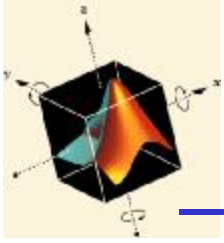
61

结果验证3：系统性能可接受蜂窝面积比

面积可靠概率为75%，其六种配置与前相同。

从图可以看出，簇大小为 $N=7$ 比 $N=4$ 可靠面积比大，可见簇大小越大，蜂窝系统质量越好，于是可靠面积比大。当然会牺牲系统容量。

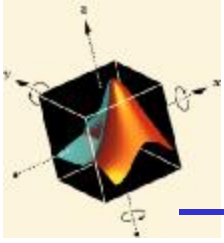




总结：

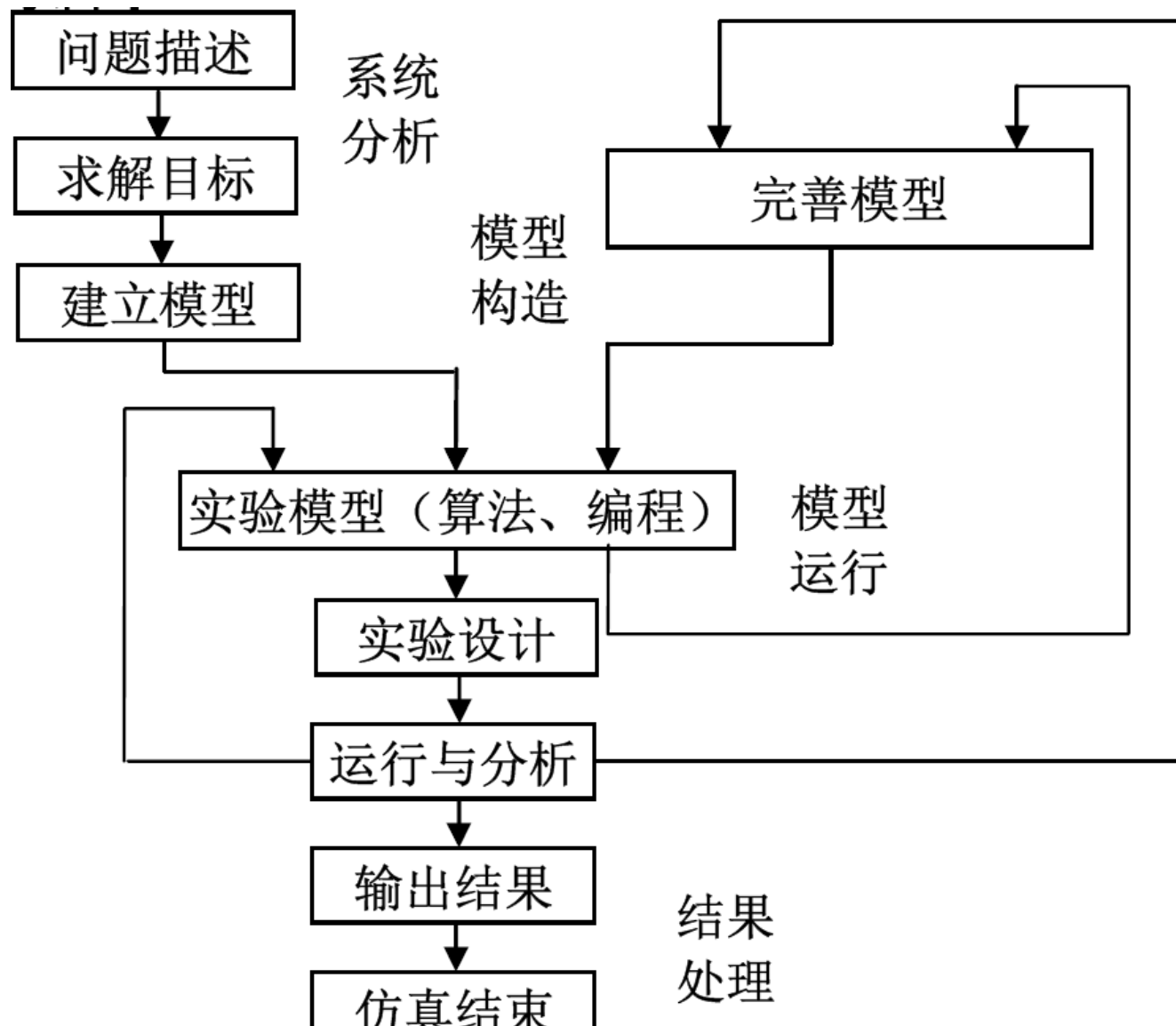
簇大小 N 在系统容量（大尺度）和链路质量（小尺度）之间做折中时，它起着举足轻重的作用。如在不增加系统分配频谱带宽的前提下，要获得高容量可以减小 N ，然而此时因为同频距离减小又增加了同频干扰，这会降低链路质量。

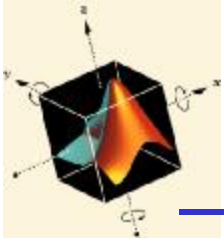
为了减少同频干扰，蜂窝通信系统通常要在基站中使用扇区化天线。每个扇区化天线在指定扇区内发射，而且为每个扇区分配小区全部可用信道的一部分信道。因此，由于基站的定向性，减少了基站或移动台接收机天线的同频干扰。但是它以牺牲中继效率为代价，这样就会减少小区承载的话务量，根据话务量理论，当信道被分成信道子集时，各信道子集承载的最大话务量之和要低于总的信道库可承载的最大化话务量。



仿真过程回顾

63





谢 谢!